

SÉMINAIRE DE PHILOSOPHIE ET MATHÉMATIQUES

MICHEL HULIN

La physique ou l'enseignement impossible

Séminaire de Philosophie et Mathématiques, 1987, fascicule 11
« La physique ou l'enseignement impossible », , p. 1-30

http://www.numdam.org/item?id=SPHM_1987__11_A1_0

© École normale supérieure – IREM Paris Nord – École centrale des arts et manufactures,
1987, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la série « Séminaire de philosophie et mathématiques » implique
l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute
utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale.
Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques

<http://www.numdam.org/>

LA PHYSIQUE OU L'ENSEIGNEMENT IMPOSSIBLE

Thèse générale et indications préalables.

D'emblée, je crois bon de donner la thèse générale autour de laquelle va s'articuler cet exposé :

1 - Depuis un demi-siècle environ, la Physique a connu un énorme développement, tant au plan de la recherche fondamentale que des applications. Ce développement est, évidemment, quantitatif. Il est aussi qualitatif: la Physique est sortie mûrie d'une série de crises.

2 - Depuis un quart de siècle environ, à ce développement de la discipline - au plan des connaissances comme au plan épistémologique, ou, si l'on veut, "cultural" - on a tenté, dans de nombreux pays dont la France, d'associer une modification de l'enseignement non spécialisé de la discipline qui prenne en compte cette richesse et cette maturité.

Cette tentative, uniformément, aboutit à un échec.

3 - L'essentiel de notre propos est que cet échec doit être pris au sérieux. Il faut admettre qu'il n'est pas lié à des circonstances institutionnelles ou techniques malheureuses mais remédiables. Sa généralité même prouve qu'il procède d'une nécessité: "La Physique des physiciens ne s'enseigne pas".

4 - Cette impossibilité dûment reconnue, le problème devient de savoir ce qu'il faut - et en même temps ce qu'il est possible - d'enseigner à la place: comment? par qui? pour qui? et qui en décide? Cette présentation n'irait pas sans quelques remarques préalables, qui ne sont pas de simples clauses de style.

En effet, cet exposé comporte beaucoup d'éléments critiques pour l'ensemble de l'enseignement de la Physique, en particulier dans notre pays, et là où il touche les plus grandes masses d'élèves: secondaire et 1er cycle du supérieur (1). Par là, nous courons le danger de heurter un certain nombre de collègues professeurs de physique.

(1) Une remarque au passage: nos références concernent essentiellement le second cycle du second degré, le seul avec les problèmes duquel nous avons quelque familiarité, fût-elle de seconde main. Nous demanderons à ce qu'on garde cette restriction implicite présente à l'esprit en prenant connaissance de cet article: collègues et, a fortiori, écoles primaires sont essentiellement hors du champ de nos remarques.

Nous tenons dès le départ à insister sur le fait que nous ne mettons en cause ni le travail, ni la conscience professionnelle des enseignants, mais l'ensemble des conditions imposées à leur travail: objectifs explicites ou implicites, programmes, moyens mis en oeuvre, existence d'examens qui sont beaucoup plus des faits sociaux, (voire politiques) que d'authentiques actes pédagogiques et plus encore comme nous venons de le dire, une impossibilité au sens propre essentielle. Nous avons, d'autre part, pleinement conscience de la réussite de nombreux collègues, soit dans le cadre strict de l'institution enseignante, soit en débordant de ce cadre par des initiatives qu'encouragent parfois certaines instances administratives.

Ce dont il s'agit pour nous, c'est de tenter de reprendre au fond le problème de l'enseignement de la Physique, dont il nous semble qu'il reste très mal posé, et qu'il condamne cet enseignement à un échec global, (malgré, répétons-le, quelques exceptions brillantes, et des apparences plus nombreuses encore de réussite relative). Nous pouvons d'ailleurs souligner dès maintenant que, s'il est assuré que c'est au contexte français actuel que nous sommes le plus naturellement portés à nous référer, les raisons profondes de l'échec de l'enseignement de la Physique nous paraissent, comme nous l'avons indiqué, jouer également dans d'autres pays, alors même que leurs structures éducatives, la formation ou les conditions de travail des enseignants, l'ampleur des efforts consentis pour amener à une évolution sont tous différents de ce qu'ils ont pu être ou sont en France. Alliées à des références historiques qui les complètent, ces comparaisons nous semblent apporter un élément de preuve extrêmement important.

Dans cette communication, nous réaffirmerons d'abord diverses "évidences" relatives à la Physique telle qu'elle se présente actuellement, compte tenu de son développement récent.

Nous montrerons que ces caractéristiques de la discipline laissent prévoir de multiples difficultés didactiques.

Nous procéderons ensuite à un certain nombre de constatations relatives à l'enseignement de cette discipline, et, en particulier, aux décalages qui apparaissent entre ces caractéristiques, comme pratique expérimentale ou théorique des physiciens, et la présentation des mêmes caractéristiques qui est proposée aux élèves par l'enseignement.

Nous tenterons ensuite de montrer que ce décalage est en fait inévitable compte tenu de l'ensemble des contraintes, épistémologiques et pratiques, imposées à tout enseignement structuré suivant les normes communes.

Il apparaît dès lors qu'il convient de redéfinir l'enseignement de la Physique, ou plutôt ce qui devrait lui être substitué, en se débarrassant d'entrée de jeu d'une référence prétendument légitime à la pratique des physiciens, référence qui ne peut être que formelle, étant entendu par ailleurs que la pratique des enseignants est encore moins une référence pertinente: c'est de la réponse aux besoins socialement reconnus en matière de connaissance scientifique que peut, en fait, dériver la légitimité.

Nous ne prétendons pas, cela dit, définir le "produit de substitution" à l'enseignement actuel: nous proposerons seulement quelques pistes de réflexion.

I. RAPPELS PREALABLES D'EVIDENCES DIVERSES

1 - La Physique est une science expérimentale, formalisée, et qui commande de multiples applications technologiques.

Les deux éléments, (recours à l'expérience, formalisation), sont, au niveau épistémologique comme dans la pratique, constitutifs de la discipline. Ils l'opposent d'une part aux mathématiques pures - au moins dans leur forme moderne - d'autre part aux sciences peu ou pas formalisées (biologie) et, a fortiori, aux sciences humaines.

2 - La Physique se fonde sur une rupture (épistémologique, cela va sans dire) d'avec les conceptions "spontanées" antérieures à son invention, avec émergence de nouvelles catégories sur lesquelles se centre l'attention : leur introduction ne se justifie - dialectiquement ! - que par l'introduction simultanée des relations auxquelles elles se prêtent (qu'on songe à l'énergie, à l'entropie, aux nombres quantiques ...). Elle ne procède que rarement d'une perception immédiate.

3 - Le seul langage "naturel" - utilisant les mots de la langue, écrite ou parlée - est mal adapté à la traduction des relations entre grandeurs physiques, et, plus encore, au développement d'une argumentation sur la base de ces relations. On peut illustrer ce point par référence aux paradoxes des Eléates, ou aux problèmes de systèmes linéaires traités par des "raisonnements arithmétiques" dans l'école élémentaire de jadis. En fait, dès que plusieurs variables sont prises dans un système de plusieurs relations, l'argumentation seulement "parlée" a le plus grand mal à aller au-delà de la simple description de ces relations : pour cela, il faut entrer dans le quantitatif, qui seul peut "arbitrer", et il faut donc passer au plan formel.

Le recours au formalisme est, par là, intimement lié à la pratique de la discipline, et même à la genèse de la coupure épistémologique qui la fonde, car c'est lui qui permet le fonctionnement effectif des concepts nouveaux au sein du nouveau réseau de relations par quoi ils se définissent. Mais rien d'original dans ces remarques: Galilée nous avait déjà prévenus ! Simplement, le raffinement formel n'a fait que croître en même temps que le raffinement expérimental.

4 - Le recours au formalisme mathématique est non seulement un auxiliaire indispensable à la coupure constitutive, et un intermédiaire obligé dans le traitement des données expérimentales ou l'expression quantitative des prédictions de l'analyse physique, mais également un outil heuristique et une aide permanente à la conceptualisation.

Il est fréquemment arrivé que la forme, voire "l'esthétique", de certaines relations mathématiques conduisent à des développements théoriques (équations de Maxwell, transformation de Lorentz, exploitation de l'analyse tensorielle par la relativité générale naissante, recours aux algèbres matricielles non commutatives au début de la Mécanique Quantique, etc.).

Il s'est également produit que des propriétés formelles suggèrent "l'invention" de certaines notions: le concept d'énergie sort essentiellement de l'observation d'une régularité, (en fait une invariance).

5 - La Physique se distingue aussi des autres disciplines expérimentales par l'existence d'une hiérarchie entre les relations théoriques, elle-même intimement liée au recours spécifique qu'entretient la discipline avec sa formalisation.

On parlera ainsi de "superlois" - (invariance, conservation, symétrie) - au-dessus des "lois physiques" proprement dites, elles-mêmes diverses, (certaines exprimant des liens de causalité, par exemple, tandis que les "relations constitutives" n'ont de valeur qu'essentiellement phénoménologique, et décrivent les comportements particuliers de certaines classes de systèmes physiques). Les superlois sont directement reliées au processus même de formalisation mathématique: elles expriment, par exemple, l'indépendance des résultats de l'analyse ou du calcul - au niveau de leurs implications physiques profondes - vis-à-vis d'auxiliaires de ce calcul, d'éléments extrinsèques qu'il faut introduire dans le traitement mathématique, (tels que les repères, ou les "jauges", ou même les unités).

Toutes ces notations, bien évidentes au demeurant, convergent vers une première constatation: dans sa genèse, sa structure intime, son fonctionnement, la Physique est indissolublement liée à la mise en œuvre d'un formalisme mathématique.

6 - Cela dit, la Physique (même théorique) n'est pas réductible à son formalisme, car elle doit tenir compte d'un "objet" qui reste extérieur au sujet, ou à la communauté des sujets, qui traitent, en physiciens, du problème étudié, - ce qui n'est peut-être pas, (ou plus), le cas en mathématiques. Les symboles manipulés et les modalités de cette manipulation doivent être en correspondance avec les divers éléments de cette "réalité" externe. L'établissement de cette correspondance et son exploitation permanente sont un moment essentiel de l'activité du physicien (à travers des processus tels que la modélisation ou l'interprétation des résultats formels).

7 - Science formalisée, la Physique est aussi - bien sûr - une science expérimentale. Nous nous garderons, évidemment, de tenter de préciser vraiment quel rôle joue l'expérience dans la structure épistémologique de la discipline: dans nos sociétés, il existe, depuis un certain temps déjà, une communauté de gens qui se reconnaissent entre eux comme "physiciens" et sont également reconnus comme tels de l'extérieur. Ils se distinguent, eux-mêmes, suivant leur appartenance à deux catégories: "expérimentateurs" et "théoriciens": les rapports entre les membres de ces deux catégories ne sont pas toujours emprunts d'une estime et d'un respect extraordinaires; néanmoins les uns et les autres ont visiblement - à un niveau global - le souci de ne pas couper les ponts entre eux, de maintenir des échanges fréquents d'informations. Ces échanges leur servent clairement à impulser des travaux nouveaux, chacun le plus souvent, travaillant dans son domaine; (dans certains cas, que la communauté semble considérer comme favorables et cite en modèles, ces échanges sont accélérés et facilités par le rapprochement de personnes des deux "bords", par l'institutionnalisation de leur collaboration).

Il arrive que les théoriciens se félicitent entre eux de la résolution d'un problème qui n'a pas de rapport direct avec l'activité des expérimentateurs, et réciproquement; une difficulté technique a été résolue, grâce à un progrès du savoir et du savoir-faire de l'une seulement des deux catégories concernées (expérimentateurs ou théoriciens). Mais souvent - et cela semble, d'une certaine manière, soulever plus d'enthousiasme - on applaudit à la réponse que les uns donnent à un problème, une difficulté ... soulevés par les autres, et, ce, dans l'un ou l'autre sens. Ce fonctionnement semble stable: il semble produire des effets exploitables et exploités par le reste de la société, qui d'ailleurs accorde à la communauté des physiciens une certaine considération - non sans quelque ambiguïté cependant.

On résume couramment la constatation de cette dualité en disant que la Physique est une science expérimentale, et cette qualité doit être reconnue comme également constitutive de sa structure épistémologique.

8 - L'activité expérimentale se manifeste par la mise en oeuvre de dispositifs, généralement artificiels, permettant de produire des "mesures" - c'est-à-dire de donner des éléments quantitatifs de comparaison entre les caractéristiques des systèmes physiques étudiés. Les procédures de mesure peuvent être très complexes, mais certaines restent raisonnablement simples, et la "mesure" - ou "le mesurage" - est une activité qui débord largement du cadre de la seule Physique et se retrouve à de nombreux moments de la vie pratique et de l'activité technique.

9 - De même que les autres sciences, la Physique elle-même fait d'ailleurs l'objet d'applications - sans cesse développées et variées - dans des domaines très divers de "l'art de l'ingénieur", permettant soit le développement de technologies nouvelles, soit une compréhension raffinée de phénomènes naturels (météorologie). Il y a une interaction essentielle entre le développement de la Physique "de laboratoire" et la "Physique appliquée", celle-ci fournissant à celle-là de nouveaux outils et de nouveaux problèmes, et en recevant des solutions à ses difficultés. Il y a là un phénomène socio-économique d'une ampleur considérable, qui impose de tenter de faire passer dans l'enseignement une information qui porte aussi bien sur les aspects appliqués que sur les aspects fondamentaux.

10 - En regard de cet "état des lieux", nous pouvons immédiatement faire figurer la liste des difficultés didactiques que l'on peut associer à pratiquement toutes les caractéristiques, tous les éléments constitutifs de la Physique.

La première tient à la dépendance de cette discipline vis-à-vis de l'outil mathématique: niveau par niveau d'enseignement, une maîtrise préalable de cet outil doit être acquise, et les besoins ne sont pas négligeables ... La Physique n'est pas "didactiquement autonome" - au contraire des mathématiques, des Sciences Naturelles.

11 - Le "rapport au réel" qui est au coeur de la démarche du Physicien est, par essence, générateur de multiples conflits cognitifs qui perturbent l'apprentissage. Car un autre rapport au réel préexiste nécessairement chez l'étudiant: celui-ci n'est jamais esprit vierge, mais riche de tout un stock de représentations, d'explications, d'attitudes vis-à-vis de son environnement physique. Et l'enseignement doit affronter ces modes de pensée invétérés, faire admettre leurs insuffisances, leur substituer ceux

de la Physique. Et il doit convaincre que ces derniers sont plus satisfaisant, y compris sur le plan d'une "prégnance cognitive" qu'il faudrait immédiatement pouvoir révéler, alors qu'elle n'émergera, ou mieux, que d'une longue familiarité progressivement mise en place.

Premier exemple - il est loint d'être le plus grave - de tels obstacles cognitifs; la reconnaissance des statuts différents des "lois" physiques.

Il existe un danger de "contamination"; la superloi est assimilée à une loi, à travers un processus de "concrétisation" qui en change le statut, et induit des images éventuellement fausses, et, en tout cas, essentiellement gênantes; par exemple, une loi de conservation déclenche une "substantialisation" de la quantité conservée, par retournement de la propriété de conservation notée pour les substances matérielles. Et cette dérive est d'autant plus facile qu'elle permet de conférer aux super lois une valeur causale immédiate aussi psychologiquement nécessaire que difficile à percevoir : (que l'on songe aussi à l'analyse dimensionnelle, qui, semble-t-il, ne parvient pas toujours à convaincre même des physiciens de métier).

12 - Mais d'autres obstacles, beaucoup plus fondamentaux, s'opposent souvent à la réussite de la modélisation, ou à ce que la modélisation proposée paraisse convaincante et soit comprise intimement. Ces obstacles sont liés à ce que l'on appelle désormais "représentations spontanées", c'est-à-dire toutes ces structures descriptives, puis explicatives que l'enfant, l'adolescent, l'adulte mettent en place pour se repérer dans leur approche du monde extérieur, pour justifier son comportement et les actions qu'ils entreprennent sur lui.

Depuis 15 ou 20 ans maintenant - et avec un démarrage en France - les "représentations spontanées" ont été analysées dans les domaines les plus divers (mécanique, électricité, optique, pneumatique ...). Leur permanence à côté même des représentations savantes a été systématiquement repérée. Leur impact essentiel et négatif sur les capacités de modéliser - suivant les normes des physiciens - les situations physiques étudiées est désormais patent.

Or ce sont ces représentations spontanées, par l'intimité de leur association aux structures mentales des élèves, qui déterminent la pensée de ceux-ci. Toutes leurs capacités de formalisation seront donc souvent détournées d'une analyse orthodoxe par la sous-jacence de représentations, "hors-physique", contradictoires avec cette analyse.

A cela s'ajoute que la modélisation, la description même de la réalité physique, impose le recours au langage "naturel". Or ce langage est le mode d'expression unique des "représentations spontanées". Le recours au langage naturel est donc très intimement lié à des conceptions extérieures à la Physique, et invétérées par un exercice permanent durant l'enfance et l'adolescence : le conflit sémantique est donc inévitable. A cela s'ajoutent les ambiguïtés du vocabulaire, liées à la reprise par le physicien de termes du langage courant. Le cours de physique, ainsi, exigera pour "passer" une maîtrise certaine de la langue, une capacité à prendre du recul par rapport à des habitudes linguistiques invétérées, et dans un contexte où les chausse-trappe abondent.

13 - La physique science expérimentale est, de ce fait, souvent présentée comme devant permettre, par le biais de son engagement, d'introduire les étudiants aux vertus de "la méthode expérimentale".

A un niveau naïf, immédiat, on touche là une certitude : il serait sain de clore beaucoup de vaines discussions entre étudiants en leur disant : "essayez, et vous verrez bien". Cela n'est pas souvent fait, malheureusement, à aucun niveau d'enseignement. Il serait bon d'une part de pousser à ce que cette attitude d'essai se répande, mais d'autre part - et c'est plus important pour nous - d'analyser pourquoi le physicien, qui se pose, comme enseignant, en expérimentateur par excellence, fait spontanément si peu intervenir l'expérience comme élément authentiquement probatoire dans son enseignement - (et ce, qu'on nous permette d'insister, aussi bien à l'Université qu'au lycée).

Ces observations peuvent d'ailleurs être corroborées par le fait qu'en Physique, les coupures épistémologiques essentielles ne se fondent pas sur des données expérimentales, qui viendraient remettre en cause un cadre de concepts et de relations précédemment admis, en en montrant l'inadéquation au comportement réel de certains systèmes physiques : quoi qu'on ait pu en dire, Einstein ignorait probablement l'expérience de Michelson et Morley; quant aux discussions de Galilée, elles font largement référence à des expériences "pensées", (la chute de mobiles sur un bateau par exemple). L'origine de ces coupures, d'une manière systématique, est à rechercher au niveau d'un "besoin théorique" : par exemple réconcilier les invariances de la Mécanique et de l'Electromagnétisme. (C'est à un niveau malgré tout plus modeste que nous placerions "l'invention" du spin, de l'étrangeté, ou du charme, où la référence expérimentale, pour le coup, a joué un rôle essentiel). Il est patent, en fait, que les conditions profondes du recours à l'expérience, en Physique, sont loin d'être claires, et que ce flou se retrouve au niveau de l'enseignement.

14 - Cela nous conduit à analyser de plus près les modalités de mise en oeuvre de ladite méthode expérimentale dans la pratique des laboratoires, les conditions qui doivent être remplies pour que ces modalités puissent être respectées, et la possibilité de reproduire ces conditions dans l'enseignement.

Commentons ces points brièvement :

Le physicien réalisant une expérience le fait en fonction d'un substrat théorique préalable, et en disposant d'un bagage technique constitué et des "outils" correspondants.

Les buts de l'expérience peuvent être très divers :

- tester une théorie qui garde encore un caractère conjectural;
- mesurer une grandeur physique dans un contexte théorique qu'il n'est pas question de remettre en cause;
- très rarement, pêcher en eau trouble "à la Claude Bernard".

Suivant le but poursuivi, la nature et la complexité de l'expérience, les références théoriques et la mise en oeuvre des pratiques techniques seront diversement importantes ou développées.

Dans tous les cas cependant :

- le physicien se fonde sur un certain nombre de certitudes théoriques qui le placent au départ dans le cadre d'une discipline constituée;
- grâce, éventuellement, à un raffinement progressif de sa technique expérimentale, il peut garantir une certaine précision (ou savoir qu'il ne le garantit pas, qu'il n'atteint pas la certitude nécessaire pour affirmer tel ou tel résultat);
- il utilise l'expérience pour répondre à une question dont ni lui ni personne ne connaît la réponse.

Il est, certes assuré qu'il peut se tromper, ne pas repérer quelque élément perturbateur, et faire une mesure fautive. Et il est certain que la confiance dans le résultat d'une mesure faite par un collègue est, dans la communauté physicienne, loin d'être absolue: combien de fois a-t-on repris l'expérience de Michelson, la mesure de c , la mesure de la conductivité des principaux semiconducteurs ! Il reste cependant que, tant l'expérimentateur que ses critiques partagent un même fonds de convictions théoriques et de savoir-faire pratiques, et une même interrogation; (leurs différends éventuels portent sur les modalités de mise en oeuvre de ce bagage technique, ou sur la cohérence des déductions théoriques). Le recours expérimental se fait ainsi "de l'intérieur" de la Physique, et ses buts sont un prolongement, un élargissement des données dont elle dispose ou de ses structures explicatives, pas une "invention" complète d'un pan de la discipline; il est réalisé par des gens qui disposent d'un acquis théorique et pratique et, (au moins dans la période récente), travaillent au sein d'une communauté qui peut exercer sur eux contrôle et critique: ils savent - pour une bonne part - ce qu'ils veulent faire et pourquoi, savent comment s'y prendre, et sont contraints à la vigilance.

15 - Rien ne nous fournit, dans un tel tableau, la moindre indication sur la possibilité d'utiliser "la méthode expérimentale", dans l'enseignement, avec des débutants, que ce soit pour les convaincre, par preuve expérimentale, de la validité d'une loi Physique, ou, - au second degré en quelque sorte -, pour les faire adhérer à cette méthode.

Et l'expérience montre bien que la physique devient, par essence, le domaine scientifique où "les manipulations ne marchent jamais".

Rien d'étonnant à cela, au vrai: que l'on songe à la maîtrise de la Physique qu'il convient de mettre en oeuvre pour mesurer correctement tensions et intensités dans un circuit ou la température dans un "bain" un peu complexe. Par essence, la mesure perturbe le système sur lequel elle porte - et ce au niveau le plus classique, complètement indépendamment des difficultés quantiques supplémentaires; on prend toujours un peu d'énergie en prenant de l'information. On ne peut donc faire de mesure fiable qu'en sachant déjà beaucoup de Physique. Redoutable défi pour le débutant, et pour son professeur. Tout l'art est de repérer, au besoin par tâtonnement, une procédure telle que la perturbation qu'elle apporte ne soit pas excessive, d'atteindre ainsi certaines informations premières - qu'on "arrangera" un peu au besoin - de manière à ce que l'intérêt, la richesse potentielle du résultat semblent satisfaisante, puis de progresser à partir de là, par allers-retours et raffinements progressifs. Difficile pour le débutant, et pour son professeur, d'admettre cette complexité, cette

progressivité tout en respectant par ailleurs l'ensemble des contraintes institutionnelles, et alors même que c'est là que se manifestent le plus clairement sans doute, la spécificité, l'inventivité et la richesse épistémologique de la discipline.

Ainsi, au niveau même de ce qui, avec le recours au formalisme mathématique, constitue l'essentiel de sa valeur pratique et de son assise épistémologique, l'expérimentation, la Physique est par essence soustraite de difficultés didactiques "incontournables".

16 - Passons maintenant à la présentation, par l'enseignement, de la "Physique appliquée". C'est, très naturellement, avec l'espoir qu'il assurera une ouverture convenable sur le monde foisonnant des applications qu'on décidera, au niveau politique, de développer éventuellement l'enseignement de la Physique. C'est, en tout cas, l'argument qu'avanceront physiciens et enseignants, et c'est aussi à cette aune que les parents d'élèves mesureront, pour une bonne part, le succès de l'entreprise.

Et là, de nouveau, les difficultés s'accumulent, car le développement technologique est fruit de la spécialisation des ingénieurs et techniciens qui en sont les acteurs. Et il est vain d'espérer que des professeurs - qui sont voués à rester des généralistes - puissent, dans la majorité des cas, suffisamment entrer dans les mécanismes de l'évolution et de l'invention techniques pour en donner une image qui soit fidèle et n'apparaissent pas aux élèves indûment appauvrie; nouvel obstacle.

17 - Signalons enfin une dernière difficulté.

La Physique est une activité scientifique très complexe et très élaborée; elle ne bénéficie pas du détachement dans le monde des idées auquel ont procédé les mathématiciens - et elle ne pourrait procéder à ce détachement sans se renier; d'autre part, elle doit par force recourir à des traitements mathématiques, parfois sophistiqués, et qu'elle contribue, à l'occasion, à développer; elle ne peut se cantonner dans la phénoménologie. Néanmoins, elle profite d'un grand élément de simplicité: il est lié à l'objectivité de son domaine d'investigation, en même temps qu'à une certaine "primarité" ou "naïveté" de celui-ci.

Quelles que soient par ailleurs, leurs options idéologiques, les physiciens raisonnent tous, dans leur domaine, en "matérialistes" orthodoxes, tablant sur une "réalité objective" et sur la possibilité d'en élucider la structure et les modalités d'évolution. De la complexité de ce "réel", il ne gardent que des éléments certes très riches, et encore souvent difficiles à débrouiller, mais considérablement restreints et schématisés par rapport au donné initial; et les conditions de cette schématisation sont, en règle très générale, très bien assurées. Enfin, s'ils s'impliquent profondément dans leur activité - (au moins le plus souvent!) - les physiciens n'établissent guère de relations de type affectif avec l'objet de leurs recherches, ce qui, là encore, contribue de manière non négligeable à décanter la situation et à définir précisément l'objet d'étude.

Un dépouillement analogue ne se retrouve déjà plus au même degré en biologie - où les affrontements entre réductionnistes et antiréductionnistes, tenants de l'inné ou de l'acquis, évolutionnistes ou créationnistes, montrent un mode d'implication intime du scientifique intervenant avec l'ensemble entier de ses convictions, qui tranche avec

le détachement du physicien. Et cet état de choses va bien sûr s'amplifier quand on passe au psychologue, au médecin, à l'économiste, etc.

De ce fait, la Physique fonctionne comme une science "modèle" ou "limite" : elle garde - prioritairement - la référence à un monde concret complètement extérieur au sujet qui l'analyse. Son objet est particulièrement épuré, délimité de manière restrictive, dépourvu de références subjectives, et se prête au mieux à la modélisation. De plus il accepte, le plus souvent, le contrôle expérimental, dans des conditions de très bonne reproductibilité. Compte tenu en plus de son prodigieux développement récent, la Physique apparaît ainsi comme une référence épistémologique essentielle : la perception de ses modalités de fonctionnement comme ses principaux résultats prennent valeur d'éléments indispensables de culture générale.

Il est alors tentant de poser que la Physique fournit une sorte de "terrain d'entraînement" préalable pour qui veut se roder à la pratique d'autres disciplines qui, par nécessité, ne peuvent bénéficier des mêmes facilités, et n'ont pas atteint le même degré de développement. Et, en dehors même du champ des disciplines scientifiques, il peut paraître évident que la pratique de l'analyse objective de situations concrètes, telle que la mène le physicien, peut se transposer à d'autres domaines : la Physique deviendrait ainsi un élément quasiment nécessaire de formation pour le gestionnaire, l'économiste, le politique, etc.

Il est assez évident, pour le coup, que c'est attribuer à cette discipline des mérites et des possibilités que l'expérience quotidienne contredit en fait.

D'une part, les dangers sont grands d'une simple transposition à la physiologie, la médecine, l'économie, etc. des procédés de la Physique, mais sans véritable justification sous-jacente, et, par exemple, sans que formalisation et conceptualisation progressent de concert. Très vite, la facilité de mathématisation conduit alors à singer la Physique sans que soient définis les concepts et les relations essentiels, et le formalisme tourne à vide, et d'autant mieux que les possibilités de contrôle expérimental sont plus réduites. Il est illusoire de présenter la Physique comme un modèle que d'autres disciplines devraient ou même pourraient imiter.

D'autre part, les empoignades entre physiciens, dès que sont en jeu des options politiques, idéologiques, écologiques, etc. outre leur violence, se placent visiblement à un niveau où l'objectivité scientifique est sérieusement entamée, et ce même sur des points qui devraient fonctionner comme les points de départ, "scientifiquement" assurés et clairement définis, de la discussion. Comme on doit systématiquement faire ce type de constatation, dès que l'occasion s'en présente, force est de renoncer aussi à l'idée d'une "transférabilité" des méthodes d'analyse physique des phénomènes dans des domaines extérieurs à ceux de la discipline.

Nous posons donc que l'on ne peut être - (au mieux !) - physicien qu'à l'intérieur de la Physique. Ce point méritait d'être souligné, car les illusions dans ce domaine sont tenaces : tant les programmes rénovés des pays anglo-saxons (PSSC, a fortiori HPP, Nuffield Project) que les manifestes de la Commission Lagarrigue en France accordaient à la Physique une valeur exemplaire, et à son enseignement une sorte de rôle de formation civique. Plus récemment encore, on voit les physiciens américains, catastrophés par la désaffection croissante des adolescents pour leur discipline et par les mauvaises performances de ses enseignants, proclamer de nouveau les vertus de son

apprentissage dans une formation "humaniste". La sagesse est de mettre une sourdine à ce type de proclamation d'inspiration scientifique, (et aussi d'épargner, dès le départ, à la réflexion didactique de s'égarer dans ce chemin de traverse).

Nous venons de décrire un certain nombre de traits essentiels de l'analyse, par la Physique, des situations du monde naturel ou technique, telle qu'elle est actuellement pratiquée dans les laboratoires de recherche fondamentale ou appliquée.

Il s'agit là d'éléments spécifiques de la discipline. Ce sont eux qui lui donnent son vrai visage, et ce depuis une époque relativement récente : depuis cinquante ans tout au plus. La prise de conscience par les physiciens de ces caractéristiques de la physique contemporaine, et de leur influence sur l'extraordinaire développement récent de la discipline et de ses applications devait naturellement les induire à suggérer, de manière très pressante, que lesdites caractéristiques "passent" dans l'enseignement : c'est tout l'effort - très louable dans son principe - du PSSC, repris en France par la Commission Lagarrigue, au début des années 70.

Mais tout le problème est de savoir ce qui peut effectivement "passer" du labo à la classe, et d'abord de voir comment, dans les faits, s'est effectuée cette transposition, sachant, dès le départ, que les difficultés de la tâche sont visiblement considérables et multiples.

II - CONSTATS SUR LA SITUATION ACTUELLE

Comment l'enseignement "élémentaire" de la Physique fait-il face à une tâche dont nous pressentons maintenant la difficulté ? Examinons en particulier :

- (I) comment il décrit l'invention de nouvelles catégories,
- (II) comment il traite les problèmes physiques au plan formalisé;
- (III) comment il instaure un échange entre ce formalisme et le discours en langage nature;
- (IV) comment il met en oeuvre le recours à l'expérimentation;
- (V) quelle ouverture il assure sur les applications de la Physique en familiarisant les étudiants avec le principe de fonctionnement et les modalités d'utilisation des ressources technologiques produites par la Physique appliquée.

On souhaiterait discerner les domaines où il réussit - tout en admettant qu'ils ne se prêtent pas tous à un égal succès et, ce, pour toutes sortes de raisons.

En ce qui concerne l'enseignement de la Physique dans l'enseignement secondaire général français - qui nous intéresse ici au premier chef - il apparaît que la situation n'est satisfaisante d'à peu près aucune manière.

On peut la résumer en disant que ce système d'enseignement porte en fait sur une autre matière que la Physique à proprement parler, qu'une partie importante de son activité consiste d'ailleurs à sécréter cette matière particulière, et qu'il fonctionne comme un système complètement clos, coupé tant de la communauté des physiciens, (qui d'ailleurs y mettent du leur), que des structures - connaissances et

raisonnements - de la discipline, de ses pratiques expérimentales, des applications dans le monde industriel qui les produit et les met en œuvre, et des enjeux sociaux et économiques correspondants.

Cette appréciation globale est sévère mais, nous semble-t-il, nécessaire. Justifions-la en passant en revue les différents aspects du problème.

1 - Le recours au formalisme mathématique est en fait systématiquement impossible au niveau où il devrait intervenir, car les connaissances mathématiques nécessaires ne sont jamais disponibles. Le fait est traditionnellement reconnu, mais non moins traditionnellement présenté comme seulement révélateur de la mauvaise volonté des mathématiciens. Or c'est un handicap fondamental, qui impose un réexamen en profondeur des conditions de fonctionnement de l'enseignement de la Physique.

2 - En fait, il est arrivé que des modifications - sans doute indûment ambitieuses - de l'enseignement de mathématiques aient fourni aux physiciens, pendant quelques années au moins, des outils mathématiques renouvelés. Ni les enseignants, ni l'institution n'en ont profité : il n'y avait, en fait, aucune attente véritable derrière les récriminations adressées aux mathématiciens. L'habitude est invétérée d'un "bricolage" systématique : on se contente d'examiner, à l'économie des cas particuliers et de postuler, de manière parfaitement artificielle, des généralisations qui ne peuvent avoir aucune force de conviction, faute de prendre le recul nécessaire par rapport au maniement du formalisme, et de se placer dans des conditions telles que l'intimité de son insertion dans la réflexion physique soit perceptible et effectivement mise à profit pour faire progresser cette réflexion.

On pourra nous opposer que, malgré le texte de certains programmes de mathématiques de naguère, les "outils" auxquels nous faisons référence n'étaient en fait jamais véritablement disponibles, faute d'une assimilation effective par les élèves. C'est plus que vraisemblable. Mais :

- d'une part, cela n'enlève en rien de sa force probante à notre remarque faite plus haut que l'enseignement de Physique n'a même pas tenté de profiter d'une évolution qui n'était quand même pas condamnée a priori ; (au contraire, l'accueil réservé à ce type d'innovation a été de dénigrement systématique, si l'on excepte quelques tentatives courageuses menées, par exemple, dans certains IREM, et qui n'ont absolument pas "mordu" sur la masse des enseignants) ;

- d'autre part, s'il est avéré que les ambitions des collègues mathématiciens étaient démesurées, et qu'ils visaient trop haut avec des élèves trop peu réceptifs, il faut admettre que les connaissances mathématiques qui, seules, permettraient de placer l'enseignement de la Physique dans un contexte où il puisse fonctionner normalement compte tenu des buts qu'on tente de lui assigner par ailleurs, ne sont pas et ne seront jamais disponibles dans l'Enseignement Secondaire ou au début du Supérieur. Pour ne citer que quelques exemples, il est clair - et prouvé - que la mise en équation d'une situation avec l'intervention des différentielles est pour la plupart un obstacle insurmontable. La manipulation des fonctions de plusieurs variables - en thermodynamique ou pour l'étude des phénomènes vibratoires - présente des difficultés analogues.

Il faut alors en tirer les conséquences qui s'imposent, sans prolonger indéfiniment un effort illusoire pour se passer d'un langage formalisé pourtant indispensable, et lui substituer des petits calculs décousus et des analogies plus que douteuses.

3 - Comme il se doit, fonctionnant dans de telles conditions, l'enseignement de la Physique ne peut qu'ignorer des moments pourtant essentiels de la formalisation : par exemple la nécessité de placer l'analyse des phénomènes physiques, (en Mécanique, en Electromagnétisme), dans le cadre de repères précisément définis, et de s'interroger sur la possibilité et les effets des changements de repère. On en arrive ainsi à éliminer de l'enseignement des éléments absolument fondamentaux : c'est quand même en reconnaissant qu'il n'y avait de sens à parler de mouvement d'un corps que par rapport à d'autres corps formant un repère que Galilée a pu créer la Mécanique; demander que la reconnaissance de cette étape essentielle soit transcrite dans l'enseignement d'une matière qui se fait passer pour de la Physique n'est quand même pas la marque d'une prétention gratuite ! Or comment faire percevoir cette nécessité du repère sans poser le problème du changement de repère ? D'ailleurs, les mêmes collègues qui tempêtent contre l'introduction de telles discussions dans leur programme, n'hésitent pas à pratiquer le changement de repère dans leurs exercices, ou dans les manuels qu'ils publient, quitte à accumuler les plus graves incohérences.

De ce point de vue, la situation se dégrade souvent : en trente ans, on peut craindre que la compréhension de la force centrifuge ait plutôt régressé. On peut aussi se demander si, dans certains cas, il n'y a pas en fait refus de l'institution elle-même devant ce qui lui paraît non pas seulement d'une trop grande complexité, mais douteux même faute d'une exigence suffisante dans la rigueur logique et dans la valeur de conviction des enchaînements proposés pour représenter l'exercice de la causalité. L'étude de l'induction électromagnétique est révélatrice à ce point de vue.

4 - Une conséquence bien sûr nécessaire de ce qui précède est que le "statut épistémologique" - on nous pardonnera cette formulation pompeuse - des différentes lois physiques n'est ni explicité, ni respecté, non plus que leur place les unes par rapport aux autres, ou leurs relations avec les grands "schèmes" tels que la référence à la causalité. (Ainsi, nous avons pu voir récemment une étudiante de 1er cycle "découvrir" que c'est la force qui produit le mouvement, et pas le contraire).

Il n'y a pas de distinction claire entre relations constitutives d'un système donné et lois physiques générales, pas d'exploitation des symétries, (par exemple au niveau d'une distinction systématique entre vecteurs et pseudovecteurs). Les lois de conservation ont, en principe, été mises au coeur du programme de 1972 auquel elles devaient servir de fil conducteur ; mais cette référence a été en quelque sorte émietlée, parcellisée, par le dépeçage auquel on a soumis la progression initialement prévue.

(On trouverait un autre exemple révélateur en électrocinétique; faute de s'en donner les moyens, les programmes de Seconde et Première s'étaient limités à une présentation purement empirique de la différence de potentiel et de l'intensité, comme si professeurs et élèves pouvaient se contenter de penser en termes de "V : indication de l'appareil appelé voltmètre", et "I : indication de l'ampèremètre". Peut-être faut-il rappeler ici que la couverture du numéro de Septembre 1983 de "Physics Today" nous

représente un professeur de "High School" proposant une interrogation à ses (rares) élèves sur le thème "Les trois lois fondamentales de l'électricité ($V = RI$, $I = V/R$, $R = V/I$).

5 - Nous avons dit que le recours au langage "naturel", en plus du formalisme, nous semble une phase indispensable de l'apprentissage de la Physique. Or, de nouveau, c'est un élément très souvent négligé par la pratique enseignante.

D'ailleurs, la modélisation explicite est très généralement escamotée, les systèmes présentés étant déjà des systèmes modèles. L'implication observable des résultats du calcul est elle-même très systématiquement négligée.

Du coup, non seulement les processus de formalisation est considérablement appauvri, mais l'enseignement introduit une coupure complète avec l'environnement, naturel ou technique, et s'interdit toute utilisation de la Physique pour comprendre cet environnement. (On reviendra plus loin sur ce point).

6 - Le recours à l'expression écrite ou orale en langage "naturel" est d'ailleurs systématiquement refoulé par la plupart des enseignants de Physique. Ceux-ci, très souvent, ne considèrent pas que le cours ou le TP de Physique puisse être le lieu d'un apprentissage de l'expression, portant sur un contenu particulier lié à des exigences propres. (Ils sont, bien sûr, largement suivis dans cette voie par les étudiants ravis de l'aubaine !) (A leur décharge, on se doit de dire qu'ils ne sont guère encouragés par les conceptions qui président de plus en plus à l'enseignement du français et qui ne cultivent pas prioritairement les qualités de précision, et de logique dans l'argumentation).

7 - Au total, l'enseignement présente une formalisation maladroite, inefficace, et inexploitable au niveau d'une compréhension un peu profonde de l'explication physique des phénomènes parce qu'elle manque d'ampleur et de généralité, et qu'elle ne fait pas l'objet d'une présentation et d'une discussion en tant que processus, et n'est introduite que comme procédé. Cet ensemble de recettes, dans l'esprit des élèves, côtoie les représentations "spontanées" qu, hors du contexte scolaire, perdurent inentamées, et réapparaissent d'ailleurs dans ledit contexte dès que fléchit le secours des recettes.

8 - La situation est-elle plus favorable en ce qui concerne la seconde composante fondamentale de la Physique : la composante expérimentale ? En fait ce que nous avons dit plus haut suggère d'avance que les difficultés sont ici pires encore et nous devons prévoir que les recours expérimentaux sont eux-mêmes des plus contestables.

Il doit être entendu, certes, que les attentes qu'on peut manifester, vis-à-vis de l'enseignement, dans le domaine expérimental, sont beaucoup moins claires encore que pour les aspects théoriques ou formels : l'intervention de l'expérience, dans la pratique du physicien, est si intimement liée à une activité de recherche, à une tentative de détermination de quantités ou de relations inconnues et à la maîtrise de pratiques techniques nécessaires à ce que la mesure ait un sens, que la transposition à l'enseignement implique un remaniement radical et dont il est difficile, a priori, de cerner toutes les modalités.

Ces restrictions faites, il est clair quand même que quelques conclusions de bon sens s'imposent, et, à leur niveau, la situation n'est pas satisfaisante :

- les savoir-faire pratiques des élèves restent très pauvres; (on a doté les établissements d'un très grand nombre d'oscillographes : ils jouent un rôle central dans de multiples Travaux Pratiques : néanmoins, la maladresse des étudiants de 1er Cycle Universitaire devant ces appareils reste considérable : on ne dira rien des savoir-faire de "bricolage", souvent inexistant).

- la référence à l'expérience prend très souvent l'aspect, dans les cours ou dans les manuels, de fausses démonstrations tout entachées encore des naïvetés de la "redécouverte".

- il y a intervention systématique, du fait des enseignants, d'éléments pseudo-formalisés intempestifs, (des conventions sans généralités, des modalités de langage gratuites, telles, par exemple, celles qui réfèrent aux "avances" ou "retards" de phase), et rejet des recours expérimentaux véritables (tels par exemple, que la comparaison entre deux situations expérimentales pour voir dans quel sens, sous l'influence d'un changement donné des conditions de la manipulation, évoluent les grandeurs observées).

- les manipulations font recours à un matériel "didactique", hors de prix et "ad hoc", qui enlève l'essentiel de leur intérêt aux manipulations car il s'agit d'un matériel "modèle", imposé, dans une structure figée, aux élèves. (Ce qui serait intéressant, ce serait de le faire concevoir, et éventuellement réaliser, par ceux-ci). De nouveau, toute la réflexion liée à la modélisation est éliminée de l'enseignement, et celui-ci se condamne à vivre replié sur lui-même, au milieu des objets qu'il s'est lui-même construits.

Le recours aux ressources modernes (circuits intégrés par exemple) dans une situation active est exceptionnel. (Du matériel sophistiqué peut éventuellement apparaître, mais de manière qui reste purement artificielle c'est du matériel "parachuté, pour "faire bien", sans véritable intégration dans un quelconque processus didactique).

A la limite, le recours expérimental devient purement idéologique : aux beaux jours de la Commission Lagarrigue, nous avons pu entendre un collègue réclamer l'insertion, dans le programme, de telle mention supplémentaire avec l'argument que "ça permettrait de faire un TP".

9 - Le couplage de l'enseignement avec l'information scientifique et technique, son suivi de l'actualité scientifique, sa référence aux développements récents de la discipline ou de ses applications sont quasiment nuls.

Point n'est besoin d'ailleurs de viser les "développements" ou "l'actualité" pour noter une déficience dans ce domaine, il y a une régression continue depuis maintenant de nombreuses années. Les programmes ne font plus mention ni du "principe de la

radio", ni des "propriétés physiologiques des sons", ni des "instruments d'optique", ni de la "résistance de l'air", ni des moteurs ou générateurs électriques, etc. Il ne faut pas s'étonner que les agrégatifs soient très nombreux à ne pas avoir la moindre idée de ce qui peut être recueilli au bas d'un haut-fourneau. Les professeurs se refusent en plus systématiquement à donner des ordres de grandeurs représentatifs qui "situaient" objets et phénomènes : les "valeurs numériques" doivent être données dans les problèmes, et il n'est pas question de demander aux élèves d'en retenir certaines, même si elles jouent un rôle essentiel dans l'appréciation et l'analyse des situations physiques.

10 - Mention particulière doit être ici faite du baccalauréat, car c'est en fait la finalité omniprésente, au moins dans le 2nd Cycle : tout l'enseignement tourne autour de l'examen final, et c'est au niveau de cet examen que s'exerce en permanence la pesée de l'institution, corps professoral en tête, pour remodeler l'enseignement suivant des conceptions "internes" au système et évacuer au maximum les références extérieures. L'évolution des épreuves au cours du temps est très révélatrice de cette tendance profonde au repliement sur soi-même et à la définition, en système clos, de ses propres objectifs, indépendamment des réalités de la discipline et des besoins du monde extérieur. S. Johsua avait montré il y a quelques années - dans le cadre des "anciens programmes", antérieurs à la réforme de la Commission Lagarrigue - l'étendue du phénomène : sept à huit "sujets-types" permettraient de rendre compte de 90% des sujets d'examen donnés par les différents centres. Les nouveaux programmes ont d'ailleurs été très vite démantelés de manière à restreindre le nombre des exercices susceptibles d'être proposés, et le corps professoral réagit avec la plus grande vivacité à toute velléité de sortir du "cadre" qu'il cherche à définir et à imposer de manière aussi rigide que possible.

Au terme de ce bilan, force est de constater que, dans notre pays, l'effort de renouvellement de l'enseignement secondaire en Physique a essentiellement échoué : le rapide dépeçage du programme a, très rapidement, permis de reconstituer le "rituel", et l'insistance mise par la Commission sur les grandes démarches de la Physique - par exemple sur les lois de conservation -, (démarches rapidement vidées de l'essentiel de leur contenu), a eu pour conséquence la plus claire d'accélérer l'expulsion des quelques éléments de Physique Appliquée qui pouvaient subsister dans les anciens programmes.

Certains collègues incriminent le manque de moyens accordés à la Commission : calendrier bousculé, essais en classe limités, recyclage insuffisant des professeurs, matériel trop chichement distribué. En fait, nous avons des éléments d'information tout-à-fait abondants et convergents qui nous permettent d'éliminer ce type d'explications : il suffit pour cela de noter qu'on trouve à l'étranger, et singulièrement dans les pays anglo-saxons, une situation quasiment aussi catastrophique.

11 - La "réforme Lagarrigue" s'inscrivait en fait - quoique avec retard - dans la ligne d'un ensemble de tentatives analogues, débutant avec le PSSC en 56 (mise en place en 1960), prolongé par le HPP (développement en 1964-1968) et, en Grande-Bretagne, par le Nuffield Project (à partir des années 60). Toutes ces réformes avaient des buts semblables : lancées à l'initiative des physiciens "de profession", elles visaient à faire passer dans l'enseignement secondaire les éléments pour eux essentiels de la discipline, les "grands moments de la Physique", que ce soit pour des éléments à vocation

scientifiques (PSSC, Nuffield), ou, dans une perspective plus "humaniste", et pour assurer une culture générale à des "littéraires" (HPP). Toutes bénéficiaient de moyens de tous ordres incomparablement plus développés que ceux dont on a pu disposer en France, et les produits visibles de l'activité des groupes impliqués dans ces opérations, les manuels par exemple, frappent par la richesse de réflexion insigne qu'ils supposent sur la Physique et son enseignement. Néanmoins, ces réformes n'ont pas suffi à modifier profondément la situation de l'enseignement : aux USA par exemple, on semble revenu 25 ans en arrière, aux débuts de "l'ère Sputnik" (cf. le numéro de Septembre 83 de "Physics To-day" déjà cité et d'autres mentions, dans le même périodique, aux débuts de 1987) : baisse des effectifs d'étudiants choisissant d'étudier la Physique, "analphabétisme scientifique" de la plupart des élèves d'un âge donné, et réinstallation du corps professoral dans ses habitudes initiales. En Grande-Bretagne, le projet Nuffield est sous feux croisés : la plupart des professeurs ou des écoles le trouvent excessivement ambitieux et, passé un premier temps de séduction, l'ont progressivement rejeté ; par ailleurs, les universités les plus tournées vers la formation des élites scientifiques, et les associations de spécialistes, critiquent avec virulence la tentative faite de mettre l'accent sur des discussions "touche à tout" et essentiellement qualitatives, sur le "feeling" de la réalité physique, au détriment d'une formation solide aux analyses quantitatives.

12 - Nous atteignons là, comme je l'ai déjà annoncé, un "moment" crucial de cette présentation.

Ce à quoi nous sommes confrontés, c'est la situation suivante :

- d'une part, un développement quantitatif et qualitatif sans précédent de la discipline "Physique". Il est remarquable que ce soit dans les années 60-70 que soient apparus tant d'ouvrages de physiciens - et certains de tout premier plan - exposant la "nature des lois physiques" (Feynman), "le sens et la structure de la Physique" (Cooper), "les concepts en physique" (Adair). La communauté physicienne fait, à sa manière et elle-même, l'épistémologie nouvelle version de sa discipline. Les "crises" de la relativité ou des débuts de la Mécanique Quantique sont bien loin ! (Et d'ailleurs cette épistémologie se nourrit bientôt de nouveaux développements, qui viennent remettre en cause certaines divisions du travail, certaines cloisons intradisciplinaires: fractals et systèmes dynamiques, ou calculs sur réseaux rassemblent physiciens des particules et physiciens des solides ou ceux-ci et hydrodynamiciens).

- du fait de ce développement, jamais les physiciens n'ont senti à ce point leur activité porteuse d'une charge culturelle, d'un potentiel, au niveau de la formation générale, aussi riches et aussi prêts à être exploités. Et jamais, dans le même temps, l'impact du progrès scientifique sur la vie quotidienne, sur l'environnement technique des citoyens n'a été aussi direct et patent pour tous, aussi créateur, par là-même, d'une demande sociale pressante.

- la communauté physicienne a donc délégué certains de ses membres auprès des institutions aptes à modifier l'enseignement de la Physique au niveau secondaire et au début des études universitaires :

* il fallait, pour ce qui est des contenus, rééquilibrer les parties de la physique les unes par rapport aux autres, et faire une place convenable, entre autres, à la mécanique statistique ou aux idées quantiques.

* il fallait assurer une ouverture adéquate de l'enseignement sur les applications contemporaines.

* plus encore, il fallait présenter, avec le maximum d'authenticité, les méthodes fondamentales de la discipline - recours à de "grands principes", reconnaissance des phases de modélisation, formalisation, expérimentation - en s'extrayant des présentations "locales" de modèles tout faits, juxtaposées les unes à côté des autres le long des cours. Ce désir prioritaire répondait d'une part à un besoin d'efficacité (pour l'apprentissage immédiat comme pour les développements ultérieurs), et d'autre part - plus encore peut être - à l'idée que c'est à ce niveau qu'apparaît la richesse culturelle de la Physique : ce serait donc en introduisant les étudiants au maniement de ces concepts et à l'apprentissage de ces règles d'analyse qu'on tirera le meilleur profit de l'enseignement de la discipline non seulement pour elle-même, mais comme composante essentielle d'une formation générale dûment modernisée. Au bout du compte, l'échec est général : incompréhension renforcée des étudiants, protestation des professeurs, retour en arrière accéléré dès que les digues cèdent.

Force est d'admettre que l'on est ici confronté à une difficulté fondamentale : "la Physique ne s'enseigne pas".

13 - Nous pouvons d'ailleurs étayer ce diagnostic en nous reportant à l'histoire de l'enseignement, complétant ainsi les références "géographiques" qui viennent d'illustrer le caractère général des difficultés auxquelles se heurte l'enseignement "élémentaire", non spécialisé de la Physique. Ainsi, la Physique ne s'enseigne pas, mais, au fond, elle ne s'est jamais enseignée.

Il est remarquable de voir comment, à la stabilité de l'enseignement des mathématiques, au moins jusqu'à une époque récente, s'oppose, en Physique, la permanence d'hésitations conduisant à des bouleversements de programmes ou à des changements de doctrines, avec des constantes de temps extrêmement réduites, de l'ordre de la dizaine d'années. Tout le XIX^{ème} et l'entre-deux-guerres ont ainsi vu se succéder les interventions de "savants", isolés ou groupés en commissions, de hauts fonctionnaires ou de ministres qui ont tenté de définir les moyens de faire passer dans l'enseignement la valeur théorique et pratique - voire morale ! - de la "philosophie naturelle", chacun trouvant de bons arguments pour expliquer l'échec patent de ses prédécesseurs.

Nous pensons que le moment est venu d'admettre que le problème n'a pas été résolu parce que c'est, fondamentalement, un problème insoluble dans les termes où on a voulu le poser au départ, et où on continue de le poser.

D'un texte d'Henry Le Châtelier, nous extrayons la réflexion suivante : "L'esprit n'est mûr pour les études scientifiques que vers 16 ans. Jusque là, on devrait se contenter de faire apprendre aux enfants les Sciences Naturelles, qui exigent seulement l'esprit d'observation, et préparer l'étude des Sciences Physiques par des travaux manuels d'atelier ou de laboratoire, destinés à donner la connaissance expérimentale des principaux phénomènes naturels.

Les méthodes actuelles d'enseignement des premiers principes de la Science sont défastes ... Certaines élèves sont déclarés bouchés pour les sciences quand leurs insuccès sont dus à de mauvaises méthodes d'exposition ... et surtout à un enseignement prématuré".

Certes, nous ne reprendrions pas telles quelles à notre compte toutes les affirmations de Le Châtelier : l'évolution de la Physique, et des "Sciences Naturelles", depuis son époque, ont très sensiblement modifié les données du problème. Il ne fait aucune mention des difficultés liées à l'emploi du formalisme mathématique, (qui nous semblent fondamentales), à la fois par ce que la formalisation de la science de son temps était beaucoup moins poussée que celle de la Physique plus récente, et parce qu'il évoluait dans un contexte marqué par le positivisme qui lui faisant accorder une confiance probablement excessive dans les vertus probantes de l'expérience : parlait-on, à l'époque, de "représentations spontanées" ? Nous adoptons néanmoins complètement sa conclusion : dans le Secondaire, l'enseignement de la Physique - en tout cas de la Physique des physiciens - est prématuré, et les autres raisons que nous voudrions ajouter à celle mises en avant par Le Châtelier ne font que renforcer cette conclusion.

Comme toujours quand l'on fait ressurgir les critiques "des Anciens", il sera naturel d'incriminer, à l'origine de notre propos; l'influence pernicieuse de quelque courant idéologique sous-jacent : on ne nous épargnera certainement pas cette réaction que nous seront d'ailleurs les premiers à trouver saine. Mais nous demandons à ce qu'on revienne sur le grave problème posé par Le Châtelier : celui des élèves. Qui d'entre nous peut dire que, pour l'un de ceux-ci, il serait actuellement prêt à poser en toute conscience un diagnostic définitif quant à ses capacités véritables à partir de ses succès ou échecs scolaires ? Et si d'autres s'insurgent contre la dénonciation de "mauvaises méthodes d'exposition", accepteraient-ils, par avance, de publier une analyse critique de nos manuels des lycées et un relevé de leurs erreurs scientifiques patentes ?

14 - Immédiatement la question se pose : pourquoi cette nécessaire impossibilité d'enseignement ? Certains de nos interlocuteurs seront vite narquois : "ainsi vous, les physiciens, vous êtes à ce point les "supermen" de la science que seuls quelques initiés peuvent égaler vos prouesses intellectuelles !".

Et d'autres s'inquièteront immédiatement, et tout à fait opportunément : "Si l'on cherche à enseigner les sciences et en particulier la Physique, ce n'est pas du tout gratuit. Vous les premiers, les physiciens, vous aviez expliqué que, sans Physique, les enfants deviendraient des adultes étrangers au monde technologique, incapables de s'y insérer professionnellement, incapables de s'y comporter en citoyens responsables. Et vous venez nous dire que, finalement, la Physique ne peut s'enseigner. Vous nous dites donc que la masse énorme des non-physiciens est vouée, irrémédiablement, à ne compter que des bons à rien".

Toutes ces questions sont parfaitement pertinentes; elles correspondent à des problèmes très réels : il ne faut pas les esquiver. Nous allons esquisser un schéma de

réponse possible; il s'articule autour des points fondamentaux suivants :

- (a) oui, la Physique est une activité qui ne peut largement diffuser dans la population.
- (b) admettons-le, et le problème devient de contourner cet obstacle essentiel; or le contournement est possible. Ce qui est en cause, c'est une certaine attitude "naturelle" devant l'enseignement, un paradigme et une idéologie de la formation, dont il faut admettre qu'ils ne tiennent plus devant un certain nombre de réalités, les unes liées à la masse des connaissances et savoir-faire mis en oeuvre par les scientifiques, les techniciens, les spécialistes, les autres de nature sociale ou économique. Et ce qui est prioritaire et fondamental, c'est de repenser l'organisation sociale du système éducatif, et les objectifs qu'on lui assigne dans le domaine scientifique: quelle que soit l'énormité de la tâche, on ne peut en faire l'économie. (Cela dit, il faut bien que les lycées ouvrent le lundi à 8 heures, et il restera important de définir des actions immédiates pour réduire les tensions les plus vives, les incohérences les plus choquantes).
- (c) le seul problème qui subsiste inentamé dans ce contexte est l'incapacité de faire passer la valeur culturelle de la science, et de la Physique en particulier, dans les représentations sociales majoritaires. Il faut admettre que c'est un problème "du second ordre" : il faut accepter d'en reculer la solution, en ayant de plus la conviction que des progrès, sur un plan plus modeste, permettant d'accroître progressivement la technicité des activités professionnelles, constitueront un élément très favorable sinon déterminant à un progrès sur le plan culturel.

III. AU DELA DE L'ECHEC.

1 - Physiciens supermen ? Eh bien ! admettons-le: effectivement, pour tirer à peu près son épingle du jeu en physique, même à un niveau modeste, il faut réunir un faisceau de capacités, les unes de traitement formel, les autres d'actions pratiques sur la matière, d'autres enfin, les plus importantes peut-être, liées à l'évacuation des représentations communes, à l'oubli de vieux réflexes intellectuels pourtant profondément intégrés à la conscience de l'espèce. Et le rassemblement de ces capacités n'est pas très fréquent, (et cela même si l'on ne se fixe pas des standards de référence élevés).

Cela dit, "superman" reste loin. Le physicien ne le sera pas plus que le sauteur à la perche - qui doit être bon sprinter, fort des bras mais pas trop lourd, acrobate - ou le violoniste - qui doit être habile de ses doigts, avoir l'oreille fine, une bonne mémoire, une sensibilité artistique développée, etc.

Mais, au total, la Physique est effectivement extrêmement difficile à enseigner par ce qu'elle accumule les difficultés :

- elle heurte de front les représentations spontanées
- ses analyses sont peu probantes, peu naturelles au départ, et en même temps "floues" (par rapport aux mathématiques, qui séduiront plus facilement les débutants doués).
- en Physique, pour comprendre ou faire, il faut dès le départ, mobiliser de multiples savoirs complexes : les manipulations sont difficiles, les formulations mathématiques lourdes, les analyses logiques et langagières complexes.

Par essence - et c'est un handicap rédhibitoire au niveau de l'enseignement - la Physique se "séquentialise" mal. J'entends par là qu'il est difficile de définir un petit corpus de connaissances limitées sur lequel on se cantonne au début de l'apprentissage, et à partir duquel on progresse linéairement par adjonctions et raffinements successifs, au moins si on veut maintenir un minimum d'authenticité et - ce qui est plus important encore - si on veut que la Physique enseignée apparaisse entretenir un rapport effectif avec la réalité du monde extérieur.

Au terme de ce constat, il est clair que l'on ne sera pas prêt de sitôt à enseigner de la "vraie" Physique à de nombreux élèves - si tant est qu'on le soit jamais.

Nous aboutissons ainsi à une vue très élitiste, une vue que ni le corps social, ni les scientifiques eux-mêmes, pour une bonne part d'entre eux, ne seront prêts à admettre très facilement.

Il faut pourtant s'y résoudre, ce qui suppose essentiellement d'admettre que la "représentation spontanée" - ici encore - est fallacieuse, et procède d'une erreur de perspective.

En fait, notre société a très peu de besoins en "vrais physiciens professionnels" (et d'ailleurs aussi en "vrais mathématiciens et autres). Chaque année, les entrées cumulées dans les laboratoires de physique fondamentale, où le progrès dans la maîtrise de cette discipline est l'unique critère de succès, se montent au plus à quelques dizaines dans un pays comme la France. Mettons donc à part les futurs "pros". Reste que tout l'enseignement scientifique reposait sur l'idée que l'apprentissage précoce des débuts de la Physique - puisqu'il s'agit d'elle - était un passage obligé pour tout élève visant une carrière d'ingénieur ou de technicien; tant au plan des connaissances de base que de l'apprentissage des méthodes, cet élève y trouvait des éléments indispensables. Cette idée n'est pas a priori sotte, mais l'expérience prouve qu'elle conduit à de échecs systématiques. C'est donc elle que nous devons remettre en cause. Nous reviendrons sur ce point dans la suite.

2 - Régions d'abord un problème: celui des futurs physiciens. Le point est ici de les repérer, et de les traiter à part, comme on accepte de traiter à part les futurs sportifs ou les futurs danseurs. Quelques dispositions techniques sont évidemment à étudier : comment s'assurer qu'on "ratisse assez large"? Comment réintégrer dans la formation des jeunes gens qui se manifestent tardivement ? Comment réintroduire dans le système général des élèves qui ne répondent pas aux espoirs qu'on avait pu nourrir à leur endroit ? Le petit nombre des personnes traitées devrait assurer que ces questions soient solubles, de même d'ailleurs que les problèmes docimologiques (le baccalauréat "spécial" qu'il faudra bien mettre sur pied, mais il en existe déjà pas mal, pour les sportifs par exemple). Le point essentiel est qu'il faut désarmer à l'avance l'opinion publique : la sélection, ici, n'a pas de retentissement, d'implications sociologiques de quelque importance que ce soit.

Admettons donc résolu, pour ce qui est de l'enseignement secondaire, le problème de la petite minorité d'élèves spécialement aptes à faire de la Physique, (et qu'on adaptera numériquement "aux emplois" : il s'agit de quelques dizaines d'élèves, et passons au cas général").

3 - Une des grosses difficultés de toute réorientation fût-ce d'une partie du système éducatif est qu'il faut intervenir en simultané avec le maintien d'une activité pédagogique apparemment au moins non perturbée : on ne peut atterrir, réparer, et redécoller !

Pour une part donc, les premières mesures visant à l'évolution générale de l'enseignement de la Physique seront locales, éventuellement temporaires, techniques. Insuffisantes par elles-mêmes, elles sont néanmoins nécessaires à la réduction rapide des dysfonctionnements les plus criants : elles donnent également l'occasion d'essais dont il pourra toujours être ultérieurement tiré profit.

Dans ce domaine, nous nous contenterons de mentionner quelques impératifs :

(i) admettre la dépendance des programmes de physique vis-à-vis de la maîtrise des outils mathématiques telle qu'elle est effectivement, (et non pas sur le papier), acquise par une fraction importante d'élèves.

(ii) "nettoyer" la Physique. L'enseignement de cette discipline reste en effet, actuellement, étroitement dépendant du hasard des découvertes et des formulations primitives, et un gros effort reste souvent à faire pour éclaircir la situation, affermir la logique des raisonnements, et définir de plus les modes de formalisation à la fois accessibles aux élèves et adéquats aux théories présentées. Un travail récent sur le phénomène d'induction électromagnétique, pourtant connu depuis 150 ans, et son exposé au niveau scolaire et universitaire nous a montré à quel point la présentation des manuels, certains pourtant intéressants voire prestigieux, peut être diffuse et lardée d'imprécisions, de postulats implicites, de complications inutiles, voire d'erreurs patentes. Bien des domaines de la Physique, même la plus classique, mériteraient à coup sûr un tel réexamen.

(iii) divers "rééquilibrages" de l'enseignement secondaire scientifique seraient bienvenus. Ils passeraient par une importance accrue donnée à des sciences expérimentales moins formalisées et sophistiquées dans leurs modes d'expérimentation et d'analyse que la Physique : géologie, biologie et chimie (dans la mesure où nos collègues chimistes accepteraient d'insister sur la valeur phénoménologique de leur discipline) permettraient, comme le suggérait Le Châtelier, un accès facilité des élèves à un premier niveau d'études scientifiques. Devraient également intervenir des apprentissages techniques : travaux manuels (toujours Le Châtelier), mais aussi dessin (aujourd'hui complètement négligé dans ses aspects figuratifs), ... et "français" : il faudrait disjoindre enseignement de la littérature et enseignement visant l'acquisition de capacités d'expression orale ou écrite. (De telles capacités sont, actuellement, dramatiquement indisponibles chez de nombreux bacheliers).

(iv) enfin, il serait bon d'accepter que l'enseignement scientifique, pour une bonne part, accepte de ressembler à de la vulgarisation, et prenne un tour largement informatif, tant sur les phénomènes naturels que sur le monde technique. (Mutatis mutandis, nous retrouvons un peu l'idée d'une histoire de nouveau partiellement événementielle et chronologique, en réaction contre les explications synthétiques prônées naguère).

4 - Mais passons maintenant au coeur du problème. Quel régime de croisière vise-t-on pour tous ces élèves ou ces étudiants qui ne veulent pas, et ne doivent pas (tentar de) devenir des professionnels de la Physique ? Que leur apprendre ? Pourquoi ? Comment ?

Autant dire, bien sûr, que le reste de cette intervention n'apportera pas de solution : son seul but sera de poser quelques jalons préliminaires le long de quelques voies qu'il conviendrait, à notre sens, d'explorer.

En ce qui concerne le secondaire, le jeu est à l'évidence très complexe. D'une part le "système" - professeurs, inspecteurs, décideurs - cherche une légitimation "objective" des contenus et des programmes auprès des spécialistes. Mais le même système sait très bien ne retenir de leur recommandation qu'un alibi : il lui est d'ailleurs facile de mettre en avant le manque de pratique enseignante, au niveau secondaire, des scientifiques pour "transposer" ces recommandations et, finalement, pour décider de l'intérieur des caractéristiques de l'enseignement. Ainsi aboutit-on, et depuis longtemps, à une "Physique enseignée", dotée d'une logique propre, et dont le recouvrement avec la Physique des physiciens, et avec la Physique qui sert, s'est amenuisé à l'extrême.

Reconnaître que la Physique est "inenseignable" aurait au moins le mérite de poser clairement les problèmes et d'interrompre ce jeu de cache-cache dans lequel les scientifiques - avec leur bonne foi mais aussi leur suffisance éventuelle - ne servent plus que de paravent à la cuisine pédagogique.

5 - Mais alors, à toutes les questions formulées plus haut, une autre s'ajoute : "De cet enseignement scientifique général, qui en décidera ?"

Actuellement, dans l'enseignement universitaire par exemple, tous les cursus sont déterminés en fonction des étudiants qui suivront des études longues, jusqu'au DEA et la thèse de 3ème cycle. Cette procédure est évidemment inadaptée à la majorité des étudiants de 1er cycle. Pour beaucoup de ceux-ci, il est clair que le "piloteage par l'aval" actuellement de règle, est inadéquat. Au delà de ce constat, reste à définir les intervenants auxquels on demandera de se substituer, au moins pour partie, aux spécialistes universitaires pour définir les objectifs, les contenus et les méthodes d'enseignement de 1ers cycles dûment renouvelés. A définir également : les procédures qui permettront de faire la synthèse entre les recommandations venant ainsi du dehors de l'Université, et les conceptions auxquelles les enseignants resteront vraisemblablement attachés, d'autant plus que leurs connaissances et leur expérience sont spécialisées : leur demander de préparer des étudiants à une entrée rapide dans la "vie active", avec une formation élargie et - au seul plan scientifique - inévitablement restreinte par rapport aux ambitions qu'affichent actuellement les programmes, c'est inévitablement leur demander de faire un autre métier que celui pour lequel leur qualification a été reconnue. Doit-on prévoir leur reconversion au moins partielle ? Doit-on - et jusqu'à quel point - imaginer qu'ils interviennent aux côtés d'autres enseignants venus du milieu extrauniversitaire (comme pour les DESS par exemple) ? Tous ces points doivent être examinés dès le moment où l'on admet l'évidence patente de l'inadaptation à sa "clientèle" de l'enseignement scientifique - l'enseignement de 1er cycle universitaire en l'occurrence -, et où l'on accepte d'envisager des solutions de fond.

6 - Au niveau du Secondaire, s'il est sain d'éliminer le "recours-alibi" aux consultants scientifiques, garants de l'exactitude des formulations du fait de leur compétence, il ne faudrait pas pour autant que lui soit immédiatement substitué un "mouvement propre" de la seule institution enseignants-professeurs, inspecteurs, administration - se repliant complètement sur elle-même. Un appel à l'extérieur, au corps social qui, à divers niveaux, peut affirmer sa demande vis-à-vis de l'enseignement, est inéluctable. Tout le problème est que les idéologies dominantes ne trouvent pas, dans l'expression de cette demande, une occasion renouvelée d'affrontements sans fin et de proclamations stériles. Beaucoup de réflexions préalables, une patiente préparation du terrain seront indispensables.

7 - Une formation touchant de larges couches de la population (secondaire, début des études universitaires) telle que celle qui nous préoccupe ici doit d'abord accepter de prendre en compte des objectifs de préparation à la vie professionnelle. Mais l'activité technique est marquée par une diversité, une spécialisation, une évolutivité sans cesse croissante. La réponse - au moins au plan des discours - a été recherchée dans l'acquisition d'une "culture générale" scientifique : la Physique du lycée devait être la base de l'apprentissage de l'électronique, ou de la mécanique, ou de l'électrotechnique. Le problème est que cette physique, même élémentaire, pose en elle-même et par elle-même des problèmes d'apprentissage si redoutables que, d'une part, elle contribue à écarter des études scientifiques et techniques un nombre inadmissible d'étudiants, d'autre part elle ne "réussit" à sa manière qu'au prix d'une coupure d'avec l'extérieur,

d'un repliement sur ses propres modèles qui la rendent largement inefficace pour - par exemple - faciliter le passage de la triode au transistor, du transistor au circuit intégré C.MOS.

C'est le concept de "culture générale", et le principe d'une acquisition précoce de celle-ci dans le domaine scientifique qui doivent être remis en cause. On devra d'ailleurs se souvenir que, en science, la personne "cultivée" - et le terme n'est pas fréquemment employé - c'est celle qui n'est pas cantonnée à une spécialité étroite : c'est tout le contraire de quelqu'un qui "a tout oublié". Une des ruptures qu'il faut accepter d'introduire dans nos conceptions de base sur l'enseignement scientifique créé sur le modèle de l'enseignement des humanités, et avec les mêmes arrières-pensées et les mêmes recettes. Latin et grec - disciplines respectables s'il en fût - sont par essence intégrables à une conception globale de "culture générale" transférée via l'enseignement vers les jeunes gens par ce qu'il y n'y a, à leur niveau, aucune nécessité d'évolution, aucun couplage avec des activités professionnelles soumises au changement, aucune référence externe imposée. La "chose enseignante" a donc totale liberté de manoeuvre pour s'adapter aux circonstances : davantage d'élèves ? le niveau baisse ? on supprime les vers latins ; quelques années plus tard, on diminuera la place du thème ; on n'"exigera" plus que les verbes en - mi soient aussi bien possédés que les verbes en - ω ...

Cette indépendance, cette liberté d'action, elles n'ont pas d'équivalent admissible dans le domaine scientifique, sauf à céder complètement au mouvement spontané de l'enseignement cherchant l'isolement, et la constitution, en totale autonomie, de son objet d'enseignement. Pour la Physique, c'est sans intérêt - (il serait bon par contre de connaître, sur ce point, la réaction des mathématiciens quant à leur discipline).

8 - Si donc, dans le domaine de la Physique, il est illusoire de faire acquérir - disons avant vingt ans - à des couches importantes de la population ce que nous appellerons un stock de connaissances fondamentales pérennes et pratiques intellectuelles opérationnelles hors du contexte artificiel préparé ad hoc par l'enseignement, (ce stock qui devait permettre l'adaptation à l'évolution des techniques, et faciliter la mobilité professionnelle), doit-on admettre pour autant l'enfoncement du corps social dans la régression technique ?

Ce qui nous semble en cause, c'est beaucoup plus le principe admis d'une formation initiale conférant toutes les connaissances de base, et à laquelle la formation continuée succède pour apporter les connaissances spécialisées nouvelles. Très naturellement, le système éducatif a réagi à l'augmentation des connaissances nécessaires à de larges couches sociales en reculant l'âge de fin d'études. Dans certains domaines de connaissances, c'était oublier que l'apprentissage - pour la plupart des gens - ne peut se réaliser que sur la base d'une expérience suffisamment riche et d'une maturité intellectuelle suffisamment assurée.

Depuis le premier tiers du XIXe, on reproche à l'enseignement de la Physique de ne pas être assez "concret". C'est ne pas prendre en compte que le "concret", ce n'est pas un donné extérieur aux gens ; c'est une représentation du monde et de choses qu'il ont intériorisée et sur laquelle et avec laquelle ils peuvent agir.

Par essence, l'enseignement non professionnel est à peu près incapable de faire entrer les élèves dans "le concret"; il ne peut qu'exploiter leur "expérience" pour les aider à se construire un "concret" en affirmant sa propre progression ? Encore faut-il laisser aux jeunes gens, à travers une activité extra-scolaire - et qui ne soit pas le seul loisir, qui soit matière à "sanctions", qui ait de réels enjeux - l'occasion effective de se préparer à construire "un concret" digne de ce nom.

C'est sur la base de l'expérience ainsi acquise qu'une présentation postérieure de la Physique et éventuellement limitée à certains domaines - pourra intervenir utilement, répondant pour le coup à d'authentiques questions, s'affrontant à d'authentiques problèmes.

9 - Il est d'ailleurs une autre raison qui interdit d'espérer une évolution majeure de l'enseignement scientifique général le rapprochant des pratiques du laboratoire, de l'usine ou de l'atelier. Elle tient aux conditions nécessaires de la formation des enseignants.

Un professeur "normal" du secondaire se situera à un niveau de formation de type "bac + 3" ou "bac + 4", un peu en-dessous, le plus souvent, d'un niveau d'ingénieur. Il faudrait qu'il puisse comprendre, analyser, décortiquer matériellement et intellectuellement, pour ses élèves, des dispositifs que mettent au point des personnes de même niveau mais qui n'ont, chacune, qu'à oeuvrer dans un seul domaine : l'optique, ou la chimie, ou l'électromagnétisme, et, plus souvent encore, dans un contexte spécialisé d'un domaine : la chimie des terpènes, ou l'électromagnétisme des antennes. Il est inévitable qu'un énorme décalage s'introduise, et qu'au fil des ans il aille croissant. Généraliste par nécessité, le professeur est voué à ne pas suivre le progrès technique qui se fonde sur la spécialisation. Admettre qu'il soit le seul intervenant dans la formation, c'est admettre que celle-ci sera tronquée, et condamnée à l'isolationnisme intellectuel. Il serait vain d'imaginer qu'une modification du recrutement change profondément cette situation.

10 - Ainsi, nous sommes naturellement orientés vers une série de thèmes de réflexion possibles :

- Il y a de bonnes raisons au caractère peu concret qu'on reproche depuis 150 ans à l'enseignement de Physique : il n'y aurait confrontation équilibrée de l'enseignement et des pratiques technologiques que si les professeurs avaient des compétences d'ingénieur polyvalent, ce qui est naturellement exclu; il n'y aura "concret" qu'au prix d'une acquisition préalable, par les élèves, d'une pratique assez riche.

- La formation générale, dans le domaine scientifique et technique en tout cas, doit s'articuler avec une pratique effective. Elle passe par ce que l'on range actuellement dans le cadre de la formation continuée, beaucoup plus que dans celui de la formation initiale. Il est vain de chercher à étendre celle-ci pour assurer un "rattrapage" infime de "handicaps" subis initialement. Il est par contre essentiel de s'organiser pour un accueil maintenu dans les lieux d'enseignement, tout au long de la vie professionnelle et en accord avec le déroulement de celle-ci.

Ceci suppose, évidemment, une évolution des conceptions globales de la société sur la formation ; mais après tout, nous ne faisons que suggérer qu'on doit généraliser ce qui devient pratique courante pour nombre de professions. Et ceci implique, en plus, une profonde évolution des enseignants : doivent-ils, peuvent-ils rester eux-mêmes coupés d'une pratique professionnelle extra-scolaire ? Comment s'adapteront-ils aux "traitements" d'étudiants plus âgés, d'une certaine manière plus exigeants peut être, et pour lesquels l'insuccès scolaire éventuel aura un impact direct sur une vie active déjà engagée ?

11 - Au-delà de cette formation à des fins essentiellement professionnelles, variant d'un étudiant à l'autre et au cours du temps, la formation générale dans le domaine scientifique a d'autres buts, et d'autres enjeux ; elle doit armer la Cité toute entière pour les débats dans lesquels la composante scientifique ou technique est présente.

Un premier point est ici essentiel : cette préparation du citoyen à son "métier" de citoyen ne peut se fonder sur une formation scientifique calquée sur celle des futurs scientifiques. L'imaginer impliquerait d'abord que c'est par hasard, temporairement peut être, que tel est cardiologue et tel autre ingénieur en sûreté nucléaire, alors que leur spécialisation est intimement liée aux procédures socialement actives de production, mise en œuvre et transmission de la connaissance scientifique et technique. Nous en revenons, bien sûr, à l'évidence que l'on ne saurait former des gens - la grande masse des gens - à être spécialistes de tout, ni même leur assurer une formation générale par le biais d'une version dégradée de la formation des spécialistes.

De plus, l'examen le plus superficiel du débat social à thème scientifique ou technique prouve à l'évidence qu'une connaissance et une pratique de pointe, dans un domaine déterminé, impliquant nécessairement l'habitude de raisonnements rigoureux, l'organisation du doute méthodique, la logique des analyses, etc. n'empêchent nullement l'adhésion des scientifiques eux-mêmes, hors du champ de leur compétence, à des attitudes passionnelles, voire irrationnelles, qui ne les distinguent que peu du commun.

Ce n'est donc pas la diffusion de la connaissance scientifique qu'il faut viser. Nous rejoindrons ici l'analyse de Roqueplo, qui introduit à l'occasion la notion de "savoir décalé" :

"Pourquoi parler de "savoirs décalés" ? Pour indiquer que le savoir impliqué par l'expression "culture scientifique et technique" ne coïncide pas avec la connaissance scientifique ou la compétence technique entendues au sens strict. Que nous le voulions ou non, nous vivons entourés de "boîtes noires" et il est exclu de pouvoir rendre notre environnement totalement transparent, comme s'il nous était possible d'en apercevoir tous les recoins avec l'œil de celui dont ce recoin constitue précisément le champ de sa science ou de sa compétence technique. Cette idéologie de la transparence et de la compétence tous azimuts est aberrante : dans le domaine médical, par exemple, elle conduirait à l'auto-médication qui constitue une perspective extrêmement dangereuse.

La question n'est donc pas de "savoir toute la médecine", mais: que faut-il savoir pour recourir judicieusement au médecin et comprendre ce qu'il me dit ? Plus généralement, le "savoir décalé" est dans l'ordre technique, le savoir qui est nécessaire pour faire appel judicieusement à tel ou tel technicien et, éventuellement, contrôler

son intervention; dans l'ordre scientifique, ce sera le savoir nécessaire pour entrer en contact avec tel ou tel domaine scientifique sans que ce contact se solde par un échec. L'objet de ce savoir décalé n'est donc pas directement la science elle-même ou la technique elle-même, mais la maîtrise de mon rapport concret à telle science ou telle technique. Peut-être peut-on suggérer que ce savoir décalé consiste dans l'ensemble des "étiquettes" apposées sur les boîtes noires dont nous sommes entourées et dans les connaissances et les pratiques que ces étiquettes rendent possible". (Ph. Roqueplo).

Insistons sur cette idée et prolongeons-la : elle heurte inévitablement bien des convictions; mais à la réflexion, elle s'impose par sa nécessité. Dans le domaine scientifique et technique, l'ignorance du plus grand nombre est nécessaire. Une société scientifiquement cultivée est une société dont les membres savent négocier avec cette ignorance.

Comment rendre possible cette négociation ?

12 - Certains éléments de réponse à cette question tiennent à une "mise en condition" générale du public : il s'agit de lui faire percevoir certaines caractéristiques de la pratique et de la connaissance scientifique et technique, souvent contraires en fait à l'image courante qu'on s'en fait, parfois avec la complicité des scientifiques eux-mêmes. On devrait insister, entr autres :

- sur le caractère nécessairement local et limité, spécialisé, de l'expertise des "savants", parallèles à des caractères identiques de la connaissance scientifique elle-même : elle côtoie en permanence des abîmes d'incertitude, et ceux-ci concernent souvent les questions les plus "naturelles", les plus préoccupantes pour le public :
- sur la prise de risque indissociable de toute activité technique, mais qui, dans le contexte technique, a l'inconvénient de devenir patente, "incontournable".

Il faut s'opposer à l'idée d'une science sûre et implacable : ce que la science apporte de plus précieux peut-être, c'est une capacité à définir ses limites, à un moment donné, dans un contexte donné. En regard, l'idéologie n'a pas de mesure, pas de contrainte, pas d'aune non plus à quoi mesurer ses succès et ses insuccès. C'est cette modestie, mais assurée, que les non-scientifiques - les scientifiques peut-être aussi - doivent percevoir comme l'apport essentiel.

Autre "message" à diffuser - et qui devrait séduire ? - celui qui insisterait sur le fait que l'activité scientifique comporte une part essentielle d'échanges entre êtres humains, échanges canalisés, guidés certes par des règles strictes, mais indissociables de l'heuristique scientifique comme de la validation des résultats. Et la réalité de ces échanges, à défaut de leurs contenus, peut être facilement présentée aux élèves, aux citoyens.

13 - Si une part - importante sans doute - de l'acculturation du fait scientifique et du fait technique au sein d'une société doit concerner chaque membre de cette société isolément, par le biais d'une formation et d'une information convenables, cette part ne saurait cependant suffire. Et, en complément, il faut viser à créer une véritable

organisation sociale de mise en oeuvre, développement et pilotage de l'ensemble "sciences - technologie".

Comme pour les autres activités humaines au sein de nos sociétés complexes (qu'on songe à la gestion financière, au droit, ou à l'appréciation des productions artistiques...), cette organisation de mise en action d'une démocratie indirecte doit reposer sur :

- la délégation de pouvoir ;
- la multiplicité des intervenants et le caractère contradictoire assuré à leurs interventions ;
- un équilibre des pouvoirs convenablement dosé. Pratiquement, ceci suppose par exemple la création de groupes de consultants scientifiques, (comme les cabinets d'audit), susceptibles d'être appelés sur telle ou telle affaire par les citoyens, les consommateurs, etc. et ce en fonctionnement "normal", hors conflit,

hors militantisme. Il faut créer le "consommérisme" de la connaissance.

La formation, l'enseignement viseront alors - hors l'aspect de préparation à la vie professionnelle examiné plus haut - à fournir les capacités de recourir à ces intermédiaires : connaissance de leur existence, de leurs modes de fonctionnement, plus encore de leurs codes, (ou de la nécessité d'exiger le décryptage !).

(Sous-produit possible, que nous mentionnons au passage : certains codes scientifiques mériteraient d'être utilisés plus largement; beaucoup de textes réglementaires seraient plus clairs si on avait le droit d'y écrire une formule algébrique; bien des discussions s'éclaireraient s'il était licite de définir, en préalable, les termes qu'on y emploiera; bien des raisonnements seraient rapidement infirmés ou confortés par des contrôles systématiques : ce qui doit être conservé l'est-il ? C'est aussi par ces habitudes - pour ne pas dire cette hygiène de pensée que passerait l'acculturation scientifique).

En résumé, notre démarche peut se résumer au niveau des points suivants :

(i) la Physique (des physiciens) est une science très complexe, dans son point actuel de développement, car elle associe des pratiques expérimentales raffinées - et elles-mêmes fondées sur de la Physique I - à des techniques mathématiques difficiles, et à une conceptualisation très abstraite. Plus sans doute que les autres disciplines scientifiques, elle ne peut s'approcher par une démarche linéaire, et, plus qu'elles, la Physique heurte de plein fouet le sens commun.

(ii) depuis 25 ans - à travers le PSSC américain, le Nuffield anglais, ou la Commission Lagarrigue en France -, on a essayé de définir l'enseignement "élémentaire", (Secondaire et début du Supérieur), par référence à cette Physique des physiciens. La complexité de celle-ci voue cette tentative à l'échec; cet échec est d'ailleurs patent, et pas seulement en France.

(iii) une des conséquences de cette "mission impossible" confiée aux enseignants, est très naturellement qu'ils se sont repliés sur eux-mêmes. Jamais la pratique

enseignante n'a été aussi ritualisée, ni aussi coupée de la vie des laboratoires, des applications industrielles, voire des références les plus simples au quotidien, coupure que, pourtant déplorait déjà les contemporains de Louis-Philippe I

(iv) Il convient maintenant "d'arrêter les frais", et donc de cesser de poursuivre cette chimère d'une "Physique des savants" qui descendrait dans les classes et les amphis. Il faut redéfinir une "Physique qu'on puisse enseigner", en admettant que, pour la plupart des étudiants, cet enseignement doit alterner avec l'activité professionnelle (et ne peut être une version édulcorée de l'enseignement des futures physiciens), par inversion des poids respectifs accordés à la formation initiale et à la formation continuée.

(v) plus fondamentalement encore, ni au niveau de l'enseignement, ni au niveau de la vulgarisation et de l'information, ce n'est plus désormais le transfert de connaissances qui doit être considéré comme prioritaire, mais l'aptitude à gérer une inévitable ignorance, au plan individuel comme au plan social. Cette aptitude doit être assurée au niveau de l'individu par sa formation, et au niveau de la société par des organismes adéquats.

Tout ceci nous emmène bien loin de l'idée d'école émancipatrice, de science libératrice chère aux pères fondateurs. Mais la sagesse veut que les limites de leurs espérances soient désormais reconnues.

Dernier point : un besoin se fait clairement sentir, celui d'une "épistémologie sociale", d'une théorie et d'une pratique des rapports qu'une société, à ses différents niveaux d'organisation, entretient avec les connaissances scientifiques qui prévalent en son sein. Les philosophes accepteront-ils d'investir ce champ ? Une nouvelle fois, la science aurait créé de la philosophie ...